

ТЕРМОЦИКЛІЧНА ОБРОБКА ВАЛА ЗІ СТАЛІ 40Х ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА ТИПУ НКВ

В. О. Пчелінцев, канд. тех. наук, доцент;
Т. П. Говорун, канд. фіз.-мат. наук, ст. викладач;
В. М. Раб, ст. викладач;
Х. В. Берладір, магістр,
Сумський державний університет, м. Суми,
E-mail: info@pmtkm.sumdu.edu.ua

Досліджена в роботі нітроцементація із циклічним нагріванням має ряд переваг порівняно з нітроцементацією з ізотермічним нагріванням. Проведення такого процесу ХТЦО призводить до зменшенні його часу, здрібнення зерна і покращання механічних властивостей.

Ключові слова: насос, вал, нітроцементація, хіміко-термічна обробка, термоциклічна обробка, мікротвердість, бал зерна, зносостійкість.

ВСТУП

Насосами називаються машини, призначені для створення потоку рідини, що переміщується. Нафтові відцентрові насоси типу НК і НКВ та насосні агрегати на їх основі типу АНК і АНКВ застосовуються в технологічних установках нафтопереробних і нафтохімічних виробництв для перекачування нафти, нафтопродуктів, зріджених вуглеводневих газів та інших рідин, подібних до зазначених за фізичними властивостями (питомою вагою, в'язкістю і т. п.) і корозійним впливом на матеріал деталей насосів, з температурою до 360 °С [1-2].

На корпусі монтують вузли та деталі, що служать для підведення рідини до робочого колеса і відведення її в напірний трубопровід. Робоче колесо призначене для передачі енергії від обертового вала насоса рідини. На валу робоче колесо закріплюється зазвичай однією або двома шпонками, рідше за допомогою різьби. Сальники служать для ущільнення отворів у корпусі насоса, через які проходить вал і встановлюються в просторі між кожухом і валом у місці його виходу з насоса назовні. Сальник, розташований з боку нагнітання, повинен запобігати витікання води з насоса, а сальник, розташований з боку всмоктування, – попереджати надходження повітря в насос. Підшипники відцентрових насосів мають переважно чавунні вкладиші з бабітовою заливкою. Змазка кільцева, іноді з охолодженням масла водяною сорочкою або зміювиками. Широко застосовуються також кулькові та роликові підшипники з рідкою або густою змазкою. За розташуванням підшипникових опор розрізняють насоси з виносними опорами (ізолюваними від рідини, яка перекачується) і насоси із внутрішніми опорами, в яких підшипники стикаються з рідиною, що перекачується.

Модернізація конструкції насосів спрямована на зниження металоемності при одних і тих самих параметрах насосів, забезпечення найбільшої уніфікації вузлів і деталей насосів, що дозволяє розширювати номенклатуру насосів без істотних додаткових витрат на їх виробництво. Велика увага приділяється підвищенню якості і надійності насосів, що дозволяє економити енергетичні ресурси і знижувати трудомісткість їх експлуатації та ремонту.

1. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА УМОВИ РОБОТИ ВАЛА ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА

Вал (2) насоса (рис. 1) служить для передачі робочому колесу обертання від двигуна насоса. Вал багатоступінчастого насоса є базовою

деталлю ротора насоса. Насоси типу НКВ призначені для перекачування легкозаймистих і горючих рідин у технологічних процесах нафтопереробної промисловості. Дані насоси можуть бути використані для перекачування води в вибухонебезпечних зонах. Вал такого насоса (рис. 1) – це циліндрична деталь із ступінчастою зміною діаметрів. Максимальна товщина зазвичай розташовується в його середній частині.

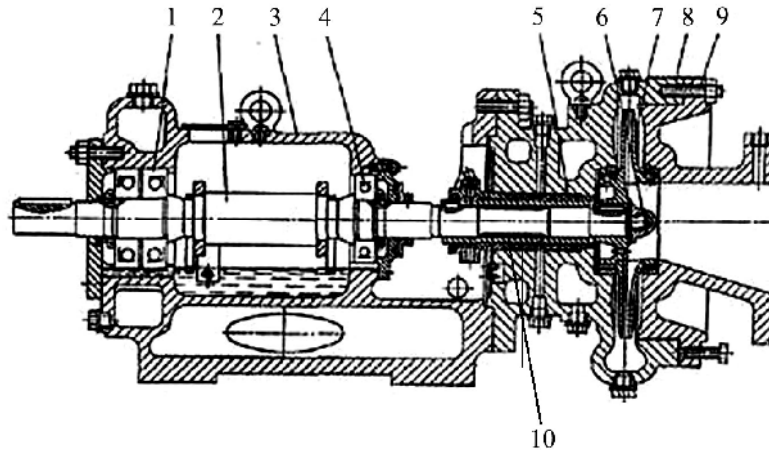


Рисунок 1 – Поздовжній розріз насоса типу НКВ: 1 і 4 – підшипники; 2 – вал; 3 – опорна стійка; 5 – сальникове ущільнення; 6 – гайка робочого колеса; 7 – робоче колесо; 8 – корпус; 9 – кришка з вхідним патрубком; 10 – поверхня вала, яка зношується

На валу виконуються упорні буртики для робочих коліс, втулок [3-4]. Перпендикулярність площини буртиків до осі вала повинна бути в межах 0,02-0,03 мм. При рухомій посадці робочих коліс ділянка вала під ними залежно від числа ступенів виконується 2-3 градаціями розмірів діаметра. При нерухомій посадці робочих коліс діаметр вала змінюється східчасто під кожним колесом.

Як заготовку валів використовують холодно- і гарячедеформований прокат. Заготовки валів відповідальних насосів піддають термічній обробці й механічним випробуванням.

Зважаючи на високі числа оборотів відцентрових насосів, їх вали розраховуються на критичне число оборотів. Вали бувають жорсткі, якщо їх робочі числа обертів лежать нижче критичних, і гнучкі, якщо вони вищі за критичні. Гнучкі вали в насосах застосовуються рідко. Для забезпечення спокійного ходу, а також можливості переходу через критичне число обертів ротор насоса, тобто вал з насадженими на нього деталями (колеса, муфта, диски), повинен бути ретельно статично, а іноді й динамічно відбалансований на особливих верстатах. Досить дуже невеликої невідповідності обертових мас, щоб виникли коливання вала, що викликають додатковий його прогин, небезпечний для міцності вала.

Вал працює в умовах дії інтенсивних знакозмінних навантажень. Цей вид роботи вимагає від вала поєднання високої поверхневої твердості і достатньо в'язкої серцевини. При взаємодії матеріалу вала із середовищем, що перекачується (найчастіше неоднорідним, що містить абразивні частинки), проходять процеси корозії, кавітаційного і абразивного зносу. Значний знос може відбуватися і під час роботи вала в умовах сухого тертя при контакті з підшипниками або безпосередньо з робочим колесом. В таких умовах роботи поверхневий шар повинен мати високу твердість і зносостійкість, бути інертним до матеріалу

підшипників та робочих коліс. Поверхня вала, яка максимально зношується (10), наведена на рис. 1.

2. ВИЗНАЧЕННЯ ПРИЧИНИ ВИХОДУ З ЛАДУ ВАЛА НАСОСА ТИПУ НКВ

Вали можуть виявитися непрацездатними внаслідок появи неприпустимих пружних деформацій при розтягуванні, крученні або при згині, що роблять істотний вплив на працездатний стан передач, підшипників і т.п. У таких випадках говорять про недостатню жорсткість деталі.

Руйнування матеріалів валів у більшості випадків носять втомний характер і відбуваються у зоні концентрації напруг. Причинами, що викликають їх, можуть бути: невдалий вибір конструктивної форми деталі й неправильна оцінка впливу концентратора напружень, порушення норм технологічної експлуатації (неправильне регулювання затягування підшипників, зменшення необхідних зазорів).

Через помилки при розрахунку, порушень технології виготовлення або умов експлуатації можуть виникнути биття вала, коливання і вібрації, які знижують -1 (межа втомності матеріалу).

Вал працює в умовах дії інтенсивних знакозмінних навантажень, схильний до зносу. Знос – результат зношування, визначений у встановлених одиницях і полягає у процесі руйнування та відділення матеріалу з поверхні твердого тіла.

3. ВИМОГИ, ЩО СТАВЛЯТЬСЯ ДО МАТЕРІАЛІВ ВАЛІВ

Вибір матеріалів для виробництва вала відцентрового насоса НКВ здійснюється, перш за все, виходячи з тих вимог, які ставляться до даного виробу в процесі експлуатації. Тому при виборі враховуються такі властивості матеріалів, як міцність, зносостійкість, корозійна стійкість, для рухомих деталей дуже важливий мінімальний коефіцієнт тертя. З точки зору технології виготовлення важливі пластичність, ковкість, оброблюваність різанням і т.п. Властивості матеріалів є функціями температури і тиску, вони також залежать від властивостей робочого середовища [1-6].

Найбільш поширеними матеріалами валів для насосів загального призначення, що перекачують холодну воду, є сталь марок 40, 45, 40Х. Для гарячеводних насосів вал повинен зберігати свої механічні властивості при температурі рідини, що перекачується, і мати коефіцієнт лінійного розширення, який мало відрізняється від коефіцієнта лінійного розширення інших деталей ротора. Для валів живильних насосів широко застосовуються низьколеговані сталі, наприклад – 40ХФА. Вали насосів, що перекачують хімічну рідину, виготовляють із хромистих сталей [7].

4. МЕТОДИ ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХНІ ВАЛІВ, ЩО ЗНОШУЄТЬСЯ

Одним із найбільш перспективних методів підвищення експлуатаційних характеристик сталевих виробів, які працюють в умовах знакозмінних навантажень, від яких потрібно поєднання високої твердості поверхні й досить високої в'язкості серцевини, є модифікування робочої поверхні нанесенням зносостійких покриттів. На сьогодні розроблено велику кількість методів, способів і прийомів нанесення захисних покриттів на поверхню сталей для підвищення надійності й довговічності деталей різного призначення [8-9]. Кожен із них має характерні відмінності, переваги та недоліки.

Застосування валів відцентрових насосів із захисними покриттями на поверхні, що зношується (10) (рис. 1), вирішує цілий ряд найважливіших завдань, до яких належать: значне підвищення продуктивності праці та надійності насоса, дає можливість заміни дорогих корозійностійких

марок сталі на більш дешеві, збільшення ефективної сфери застосування насосів у цілому.

Хіміко-термічна обробка (ХТО) забезпечує отримання на поверхні сталей покриттів, які можуть істотно відрізнитися складом, структурою, властивостями і міцністю зчеплення з матрицею [8-11]. Після проведення ХТО робочі поверхні характеризуються високою твердістю, теплостійкістю, зносостійкістю, корозійно-окисної стійкістю і хімічно інертні по відношенню до контактуючих матеріалів.

Аналіз показує, що такий процес ХТО, як нітроцементация в шахтних печах, тривалий (10-12 год), дорогий і не завжди забезпечує необхідну якість обробки. Недосконала й організаційна структура термічного виробництва, що відрізняється низьким рівнем механізації та автоматизації. Це свідчить про необхідність заміни газової цементации новими процесами хіміко-термічної обробки з використанням термоциклічної обробки (ТЦО).

Метод ТЦО як спосіб термообробки (ТО) базується на постійному накопиченні від циклу до циклу позитивних змін у структурі металів [12-15]. При цьому важливою особливістю циклу є його інтенсивність, відсутність або наявність невеликих витримок при крайніх температурах, а також оптимальний діапазон зміни температури.

Сучасне обладнання дозволяє проводити процес із швидкістю нагріву від десятих часток градуса за секунду (пічний нагрів) до сотень (нагрів за допомогою СВЧ). Температурний діапазон залежить від призначення термічного впливу, фізико-механічних і теплофізичних властивостей матеріалу, а також від його структурного стану. З іншого боку, варіюючи число циклів, яке є величиною значною мірою обмеженою, тому що мова йде про технологічне термоциклування, можливе досягнення принципово різних структур, а отже і властивостей.

Використання ТЦО безпосередньо в процесах хіміко-термічної обробки (ХТО) при цементации та азотуванні (ХТЦО) дозволяє за більш короткий час, ніж при ізотермічній витримці, досягти необхідного дифузійного збагачення поверхневих шарів металами або неметалами із зовнішнього активного середовища. Велику увагу дослідників і виробників приділено розробленню нітроцементации в режимі ТЦО. Особливостями процесу нітроцементации конструкційних сталей є зниження максимальної температури насичення до 870 °С і зниження вмісту аміаку в газовому середовищі від 10–25 до 1–5 %. Це різко зменшує ймовірність утворення великого зерна, «темної складової», в структурі й надлишкової карбонітридної фази (сітки), що знижують міцність і пластичні властивості деталей. Зниження температури обробки при нітроцементации обумовлене тим, що азот, який дифундує в сталь, істотно зменшує значення температури критичних точок і цим забезпечує необхідну дифузю вуглецю в аустеніт при менших температурах. Зниження температури нітроцементации зменшує жолоблення деталей удвічі, скорочує витрату енергії і жаротривких сталей [12].

5. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

У цій роботі наведено результати дослідження сталі 40Х під час проведення нітроцементации з ТЦО. Для проведення експерименту були виготовлені зразки розмірами 10x10x20 мм, поверхні яких були ретельно очищені від бруду, іржі та відшліфовані. Поверхня зразка була знежирена спиртом. Процес насичення поверхні сталі 40Х азотом і вуглецем поєднали з процесом термоциклування і гартуванням. Проведення даного типу процесу здійснюється з метою отримання на поверхні виробу захисного шару досить високої твердості і зносостійкості.

Процес нітроцементации з термоциклічним нагрівом і подальшим гартуванням проводили в печі СШОЛ 1.1.6/12. Максимальна температура

нагрівання при цьому становила $A_{c3} + 30-50$ °С. Температура точки A_{c3} для сталі 40Х дорівнює 815 °С, тобто температуру нітроцементації і термоцикування вибирали в інтервалі 845-865 °С і взяли 845 °С. Мінімальна температура термоцикування дорівнює 450 °С (рис. 2). При максимальній температурі та мінімальній температурі термоцикування, що застосовується в даній роботі, проводили ізотермічну витримку 0,5 год. Загальний час процесу ХТЦО (рис. 2 б) становив 6 годин.

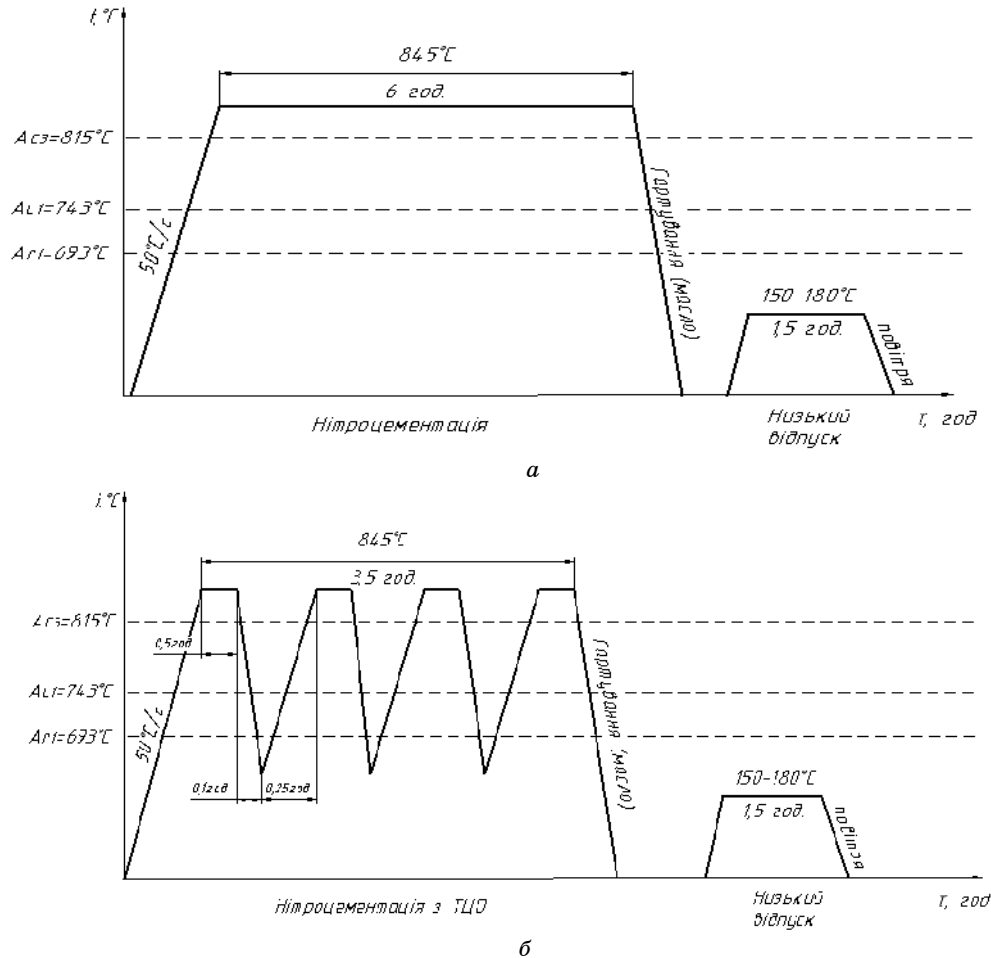


Рисунок 2 – Схема термічної обробки сталі 40Х під час проведення нітроцементації (а) і нітроцементації з ТЦО (б)

Витримку при температурі 450 °С реалізовували перенесенням контейнера з даної печі в піч СШО 2.4/7. Ця піч використовувалася і для проведення низького відпуску. Гартування реалізовували в масляних гартівних баках. Для завантаження і вивантаження контейнера в піч використовували кліщі.

Під час розроблення нових матеріалів потрібна досить точна експериментальна оцінка переваг матеріалу, що перевіряється на тертя в умовах, наближених до реальних умов експлуатації. Одним із основних напрямів, який допомагає вирішити поставлене завдання, є правильна і обґрунтована послідовність проведення лабораторних трибометричних випробувань, підкріплених відповідними фізичними методами. Поведінка реального вузла тертя або певної її частини в таких експериментах

моделюється за допомогою лабораторної випробуваної системи, яка тією чи іншою мірою імітує її поведінку під час експлуатації. З цією метою широко використовуються спеціальні установки – машини тертя, трибometri, що дозволяють змінювати умови роботи поверхонь, які труться в необхідному діапазоні швидкості й тиску за наявності певного робочого середовища. Випробування на знос в умовах сухого тертя ковзання реалізовували на машині тертя СМТ-1. Випробування зносостійкості проводилися двома методами. Величину зносу оцінювали порівняно з вагою зразка, до і після випробувань. Зважування проводилося на високоточних аналітичних вагах ВА-200.

6. ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Металографічним аналізом зразків зі сталі 40Х була зафіксована така структура (рис. 3). Виявлення структури сталі реалізовували хімічним травленням 3–4 % розчином азотної кислоти в етиловому спирті.

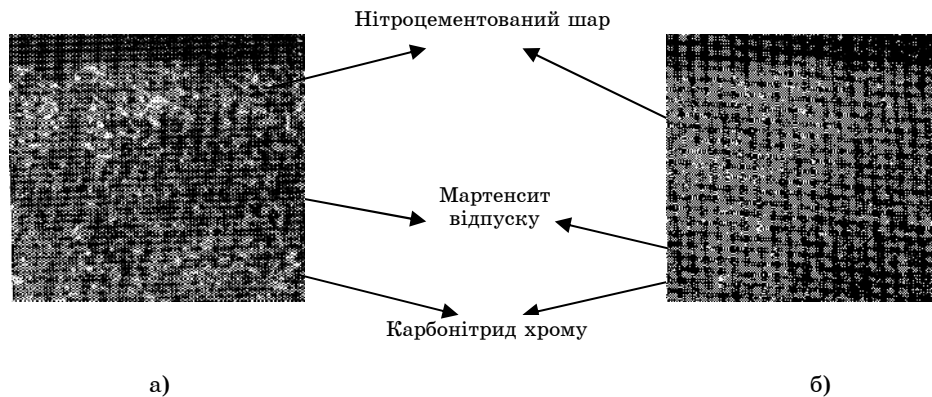


Рисунок 3 – Структура сталі 40Х після ізотермічної нітроцементзації, гартування і низького відпуску (а) і після нітроцементзації з термоциклічним нагрівом, гартування і низького відпуску (б)

Грунтуючись на дані літератури [16–17], поверхнева зона після твердостної нітроцементзації становить карбонітридну -фазу $(Fe, Me)_{2-3}(N, C)$ або оксикарбонітридну $(Fe, Me)_{2-3}(N, C, O)$. Іноді поверхнева частина -фази містить значну кількість пор. Зовнішня нітридна зона рівномірна за товщиною у всій досліджуваній області. Товщина цієї зони – 25–30 мкм. Другою складовою даної зони є шар фазового складу карбонітриду заліза $(Fe, Me)_4NC$ (-фази).

Основою сталі 40Х після нітроцементзації, гартування і низького відпуску є дрібногольчатий мартенсит і залишковий аустеніт.

Однією із поставлених цілей проведення термоциклічної нітроцементзації є подрібнення структури основи і поверхневого шару сталі 40Х, використовуваної для виготовлення вала відцентрового насоса. ГОСТ 5939-65 регламентує зернистість за балами. Металографічним методом аналізу було проведено порівняння бала зерна основи і поверхневого шару зразків, які зазнали термоциклічної та ізотермічної нітроцементзації. Встановлено, що бал зерна сталі 40Х після ізотермічної і після термоциклічної нітроцементзації (відповідно) змінюється від № 5–6 до № 9 в серцевині і від № 5–6 до № 10 у дифузійному шарі. Цей результат вплине на характеристики і властивості оброблюваного вала.

Товщина захисного шару була визначена двома методами – металографічним візуально і за допомогою мікротвердоміра ПМТ-3. Товщина захисного шару після термоциклічної нітроцементзації становила 1,2–1,4 мм, що в 1,45–1,50 більше, ніж при ізотермічній

нітроцементзації. Порівнюючи товщину шару після термоциклічної та ізотермічної нітроцементзації, можна зробити висновок про позитивний вплив термоциклування на швидкість насичення сталеві матриці. Отримана при нітроцементзації глибина захисного шару, а також твердість поверхні є критеріями оцінки експлуатаційної придатності вала. Профіль розподілення мікротвердості відповідає розподілу азоту і вуглецю за глибиною.

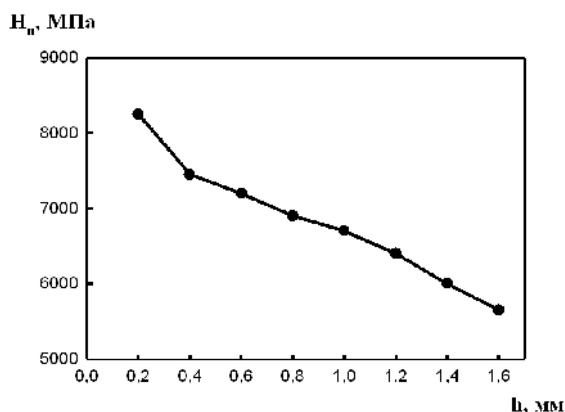


Рисунок 4 – Розподіл мікротвердості за глибиною нітроцементованого шару сталі 40X, де h – відстань від поверхні, H_n – мікротвердість

Розподіл мікротвердості за товщиною шару поданий на рис. 4, з якого можна зробити висновок про позитивний вплив процесу нітроцементзації і плавне зниження твердості від поверхні до основи сталі 40X. Твердість основи становила 36–40 HRC.

Випробування на знос сталі 40 X після нітроцементзації з термоциклічним нагріванням, гартуванням і відпуском проводилися при терті ковзанні без змащення за схемою вал-вкладиш. Контакт реалізовувався по боковій поверхні зразка (вкладиш). Величину зносу визначали ваговим методом. Проведено металографічний аналіз лунок зносу (рис. 5), що дає інформацію про характер зносу.

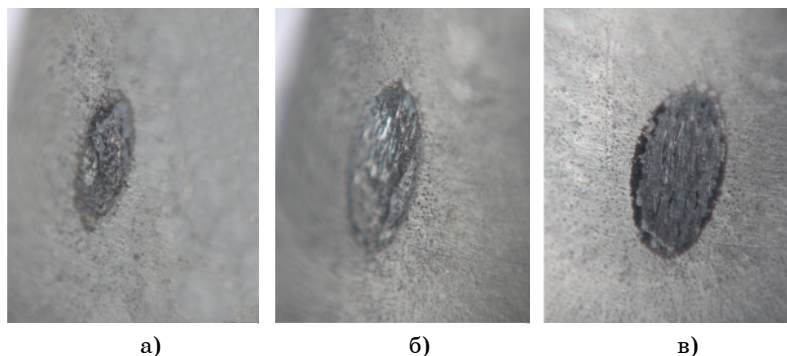


Рисунок 5 – Макроструктура лунок зносу сталі 40X після нітроцементзації з термоциклічним нагрівом з подальшим гартуванням і відпуском при різному часі випробувань: а) - 120 с; б) - 300 с; в) - 600 с; х 50

У лунках зносу сталі 40X після комплексної обробки (рис. 5) спостерігаються лінії мікрорізання, спрямовані по ходу тертя, що характерно для переважного абразивного типу зносу. Як абразив виступають окремі частки покриття, відділені від основи при випробуванні. Відстань між рисками - слідами різання значні. Можна вважати, що абразивний характер зношування за даною методикою випробування буде визначальним. У ході випробувань були отримані такі результати (табл. 1, 2).

Таблиця 1 - Результати випробувань сталі 40X на знос

Вид обробки	Маса зразка до випробувань, г	Маса зразка після випробувань, г	Втрата маси зразка при випробуванні, г
1. Без обробки	16,72895	16,47230	0,38665
2. Гартування, відпуск	11,50560	11,29990	0,21950
3. Нітроцементация, гартування, відпуск	7,16200	6,99420	0,16780
4. Нітроцементация+ТЦО, гартування, відпуск	15,45820	15,23870	0,13808

Таблиця 2 - Коефіцієнт зносостійкості сталі 40X

Вид обробки	Коефіцієнт зносостійкості
1. Без обробки	1
2. Гартування, високий відпуск	1,76
3. Нітроцементация, гартування, низький відпуск	2,3
4. Нітроцементация +ТЦО, гартування, низький відпуск	2,8

Якщо взяти коефіцієнт зносостійкості сталі 40X без обробки за одиницю, то отримаємо такі дані за відносній стійкості сталі 40X після різної термічної обробки.

Величину зносу визначали, вимірюючи площу лунки зносу. В результаті отримані такі дані (рис. 6).

До найменшого зносу схильна сталь 40X після нітроцементации з термоциклічним нагрівом, гартуванням і низьким відпуском.

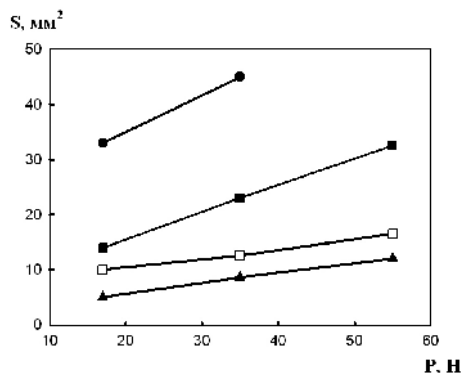


Рисунок 6 – Залежність величини зносу сталі 40X від навантаження, $t = 600$ хв., $V = 0,36$ м/с,

P – навантаження, S – величина зносу:

- без обробки;
- гартування, високий відпуск;
- нітроцементация, гартування, низький відпуск;
- нітроцементация + ТЦО, гартування, низький відпуск

ВИСНОВКИ

При обробці вала відцентрового насоса типу НКВ, виготовленого із сталі 40X, що полягає в проведенні одного з видів хіміко-термічної обробки, а саме нітроцементации у твердому карбюризаторі, нагрів реалізували циклічним методом (ХТЦО). Нітроцементацию з ТЦО здійснювали до температур 845 °С, охолоджували до температури 450 °С і витримували. Загальне число циклів становило 4. По закінченні 6 годин реалізували гартування з температур нітроцементации. Остаточним видом термічної обробки був низький відпуск при температурі 180–200 °С.

Така нітроцементация із циклічним нагріванням має ряд переваг порівняно з нітроцементациєю з ізотермічним нагріванням. У першу чергу це пов'язано зі зменшенням бала зерна від № 5–6 до № 9 в серцевині і від № 5–6 до № 10 у дифузійному шарі, що в результаті призводить до збільшення товщини нітроцементованого шару. Так, товщина нітроцементованого шару сталі 40Х після термоциклічної нітроцементациї в 1,45–1,5 раза вища порівняно з класичною нітроцементациєю. Результати лабораторних випробувань показали, що термоциклічна нітроцементация порівняно з ізотермічною призводить до підвищення зносостійкості сталі 40Х в 1,3–1,5 раза.

ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ВАЛА ИЗ СТАЛИ 40Х ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА ТИПА НКВ

*В. А. Пчелинцев, Т. П. Говорун, В. Н. Раб, К. В. Берладир,
Сумский государственный университет, г. Сумы*

Исследованная в работе нитроцементация с циклическим нагревом имеет ряд преимуществ по сравнению с нитроцементацией с изотермическим нагревом. Проведение такого процесса ХТЦО приводит к уменьшению времени его прохождения, измельчению зерна и улучшению механических свойств.

Ключевые слова: насос, вал, нитроцементация, химико-термическая обработка, термоциклическая обработка, микротвердость, бал зерна, износостойкость.

THERMOCYCLIC TREATMENT OF THE 40H-STEEL SHAFT OF CENTRIFUGAL PUMP OF NCV-TYPE

*V. A. Pchelyntsev, T. P. Hovorun, V. N. Rab, K. V. Berladir,
Sumy State University, Sumy, Ukraine*

The investigated in the paper nitrocarburizing with cyclic heating has several advantages compared with nitrocarburizing with isothermal heating. Carrying out of such chemical-thermocyclic treatment process leads to its time reduction, grain refinement and to improvement of the mechanical properties.

Key words: pump, shaft, nitrocarburizing, chemical-heat treatment, thermocyclic treatment, microhardness, grain size, wear resistance.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Швиндин А. И. Насосное оборудование нового поколения для нефтеперерабатывающих производств / А. И. Швиндин, А. Г. Солощенко, О. С. Львов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2008. – №3. – С. 22-25.
2. Швиндин А. И. Консольные насосы нового поколения для нефтеперерабатывающих заводов / А. И. Швиндин, О. С. Львов // Химическая техника. – 2008. – №1. – С. 7-8.
3. Якубчик П. П. Насосы и насосные станции : учебное пособие. – СПб. : ПГУПС, 1997. – 106 с.
4. Дунаев П. Ф. Конструирование узлов и деталей машин : учебное пособие для студентов техн. спец. вузов. - 8-е изд., перераб. и доп./ П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. – М. : Издательский центр «Академия», 2004. – 496 с.
5. Пчелинцев В. О. Пошкоджуваність основних деталей машин: навчально-методичний посібник / В. О. Пчелинцев, В. М. Раб. – Сумы : Вид-во СумДУ, 2008. – 137 с.
6. Пирсол И. Кавитация: пер. с англ. Ю. Ф. Журавлева. – М. : Мир, 1975. – 95 с., іл.
7. Марочник сталей и сплавов / Сорокин В. Г., Волосникова А. В., Вяткин С. А. и др; под общ. ред. В. Г. Сорокина. – М. : Машиностроение, 1989. – 638 с.
8. Бернштейн М. Л. Металловедение и термическая обработка стали: справ, изд. в 3 т. / М. Л. Бернштейн, А. Г. Рахштадт. – М. : Металлургия, 1983. – Т. 1. – Методы испытаний и исследования, 1983. – 352 с.
9. Киричок П. О. Зміцнення поверхонь металевих деталей: навч. посіб./ П. О. Киричок, В. Г. Олійник, Т. Ю. Киричок. – К. : Преса України, 2004. – 240 с.
10. Фиргер И. В. Термическая обработка сплавов: справочник. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1982. – 304 с., іл.
11. Ляхович Л. С. Химико-термическая обработка металлов и сплавов / Л. С. Ляхович. – М. : Металлургия, 1981. – 424 с.
12. Федюкин В. К. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин / В. К. Федюкин, М. Е. Смагоринский. - Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. - 255 с.

13. Жучинський Л. А., Свистунов М. В., Стоян С. Л. Способ термоциклической обработки высокопрочной стали. Полезная модель 6 С 21 D 1/18, 2007.
14. Стецишин М. С., Береговий А. І. Спосіб контролю оптимального числа циклів термообробки при термоциклічній обробці конструкційних сталей. Пат. 41390 Україна, Кл. С21D1/78. 2009.
15. Иващенко В. Ю., Чейлях О. П. Способ термической обработки стали. Кл. С21D1/78. 2010.
16. Юргенсон А. А. Азотирование в энергомашиностроении.– М. – Свердловск : Машгиз, 1962. – 131 с., іл.
17. Азотирование и карбонитрирование / Р. Чаттерджи-Фишер, Ф. Эйзелл, Р. Хоффман и др.; пер. с нем. Федоровича В. А.; под ред. Супова А.В. - М. : Металлургия, 1990. – 456 с.

Надійшла до редакції 6 червня 2012 р.